

磁控溅射 Al 膜的 AFM 性能分析及其制备工艺研究

何建梅,温浪明,章 晨,张 勋,郑锡鑫,庄炜培,张 红,徐海红

(华南理工大学 物理科学与技术学院,广东 广州 510640)

摘 要:用原子力显微镜(AFM)对直流溅射和射频溅射制备铝膜的表面粗糙度及颗粒大小进行了分析比较.实验结果表明:溅射功率和溅射时间对铝膜表面粗糙度有影响,通过延长溅射时间或提高溅射功率可使膜的平均颗粒直径增大.

关键词:铝膜;表面粗糙度;溅射功率;溅射时间;AFM

中图分类号:O484 **文献标识码:**A **文章编号:**1005-4642(2007)08-0042-05

1 引 言

溅射技术的出现和应用经历了许多阶段,最初,只是简单的二极、三极放电溅射沉积,经过 30 多年的发展,磁控溅射技术已经发展成为制备超硬、耐磨、低摩擦系数、耐蚀、装饰以及光学、电学等功能性薄膜的一种不可替代的方法.伴随着工业需求及新型磁控溅射技术的出现,磁控溅射技术在一般的金属靶材溅射、反应溅射、偏压溅射等传统工艺的基础上不断发展,低压溅射、高速沉积、自支撑溅射沉积、多重表面工程以及脉冲溅射等新型工艺成为目前该领域的发展趋势.磁控溅射技术已经在我国的建材、装饰、光学、防腐蚀、工磨具强化等领域得到比较广泛的应用,利用磁控溅射技术进行光电、光热、磁学、超导、介质、催化等功能薄膜制备是当前研究的热点.

随着纳米技术的发展,铝膜在半导体掩膜、磁盘、宇宙空间用光学镜片、环形激光陀螺等纳米器件上的运用越来越广^[1~3].在薄膜工艺及性能测试领域,薄膜表面粗糙度表征薄膜的颗粒尺寸、表面形貌等重要特性,在一定程度上影响高精密度产品的性能^[4].随着现代技术及产品的不断发展,必将对薄膜表面粗糙度提出更高要求,以适应产品的高要求.因此,表面粗糙度的研究对科学研究和工业生产有重要的指导意义.本实验旨在分析磁控溅射镀铝膜的 AFM 性能,并研究其制

备工艺.

2 实 验

实验材料:靶材为纯铝,基材为玻片.实验仪器为 JPG-500 型超真空多靶磁控溅射仪.测试仪器为 CSPM4000 扫描探针显微镜系统;接触式 AFM.

本实验利用原子力显微镜结合图像分析软件 imager 对薄膜表面粗糙度、颗粒尺寸进行了观察和分析.薄膜中分布着明显的晶体颗粒,其直径尺寸大小可通过 imager 软件的“颗粒尺寸分析”功能进行分析,并利用软件的“手工颗粒挑选”功能将混杂在铝膜中的杂质颗粒剔除,以避免粗大误差.

2.1 直流条件下制备的薄膜

直流溅射条件:沉积室本底真空为 8.9×10^{-3} Pa,溅射气体为高纯 Ar,溅射气压为 3.8 Pa,气体流量为 2.0×10^{-2} L/min,溅射时间为 20 min.

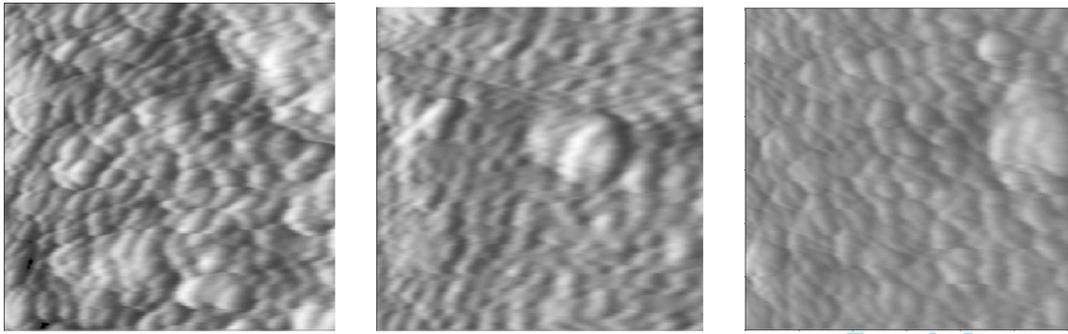
在直流溅射条件下,分别用直流溅射功率为 200 W,220 W,260 W 制取薄膜,得到 Al 膜 AFM 形貌图^[5]见图 1~2.

各种功率条件下,得到 AFM 形貌图的表面粗糙度数据^[6]见表 1~2.其中:十点高度是指在取样长度内 5 个最大的轮廓峰高的平均值和 5 个最大的轮廓谷深的平均值之和.

收稿日期:2007-03-16;修改日期:2007-05-08

作者简介:何建梅(1985-),女,广东高州人,华南理工大学物理与科学技术学院 2004 级本科生.

指导教师:张 红(1961-),女,广东潮阳人,华南理工大学物理与科学技术学院高级实验师,从事物理实验教学工作.

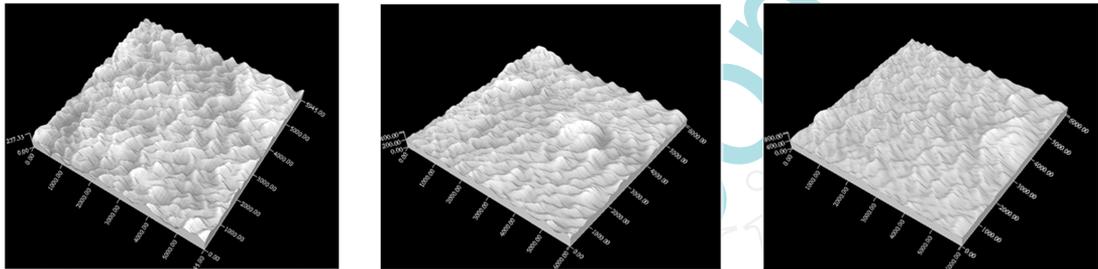


(a) $P = 200 \text{ W}$

(b) $P = 220 \text{ W}$

(c) $P = 260 \text{ W}$

图 1 直流溅射 Al 膜 AFM 表面形貌图



(a) $P = 200 \text{ W}$

(b) $P = 220 \text{ W}$

(c) $P = 260 \text{ W}$

图 2 直流溅射 Al 膜 AFM 三维形貌图

表 1 直流溅射功率对薄膜表面粗糙度的影响

P / W	平均粗糙度 / nm	均方根 / nm	十点高度 / nm
200	24.6	30.6	178
220	26.9	34.2	203
260	36.7	46.2	246

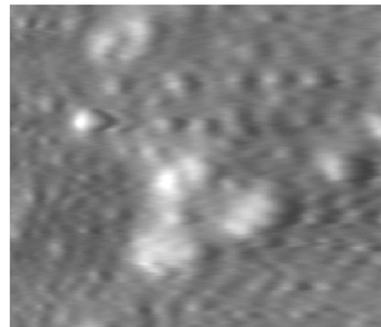
表 2 直流溅射功率对薄膜粒径大小的影响

P / W	颗粒尺寸直径 / nm
200	164
220	176
260	196

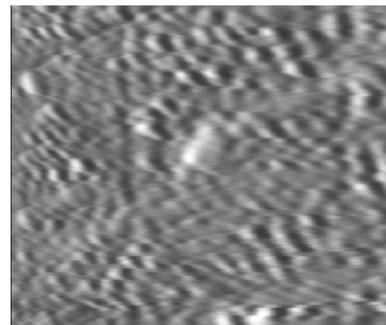
2.2 射频条件下制备的薄膜

射频溅射条件:沉积室本底真空为 $4.1 \times 10^{-4} \text{ Pa}$,溅射气体为高纯 Ar,溅射气压为 3.8 Pa ,气体流量为 $2.2 \times 10^{-2} \text{ L/min}$,溅射功率为 389.0 W 。

在溅射功率、气体压强^[7]等相同的条件下,改变溅射时间,分别为 10 min 和 15 min ,得到 Al 膜 AFM 形貌图见图 3~4。不同溅射时间条件,得到 AFM 形貌图的表面粗糙度数据见表 3~4。



(a) $t = 15 \text{ min}$



(b) $t = 10 \text{ min}$

图 3 射频溅射 Al 膜 AFM 表面形貌图

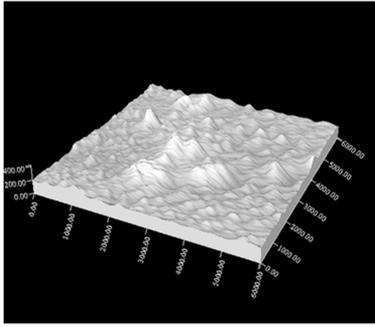
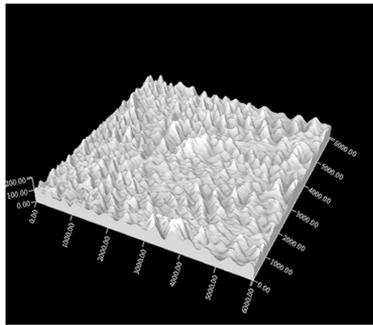
(a) $t = 15$ min(b) $t = 10$ min

图 4 射频溅射 Al 膜 AFM 三维形貌图

表 3 射频溅射时间对薄膜表面粗糙度分析

$t/$ min	平均粗糙度/ nm	均方根/ nm	十点高度/ nm
15	27.7	39.4	301
10	17.8	23.4	179

表 4 射频溅射时间对薄膜粒径大小的影响

$t/$ min	平均直径 / nm	颗粒最大面积/ nm^2	颗粒最小面积/ nm^2	颗粒平均面积/ nm^2
15	206	4.20×10^5	4.52×10^4	1.33×10^5
10	168	2.92×10^5	2.71×10^4	8.89×10^4

3 结果分析

3.1 玻片表面分析

镀膜之前,挑选玻片进行清洁处理,然后用原子力显微镜对玻片作测量:

1) 5 块玻片表面粗糙度分析如表 5 所示,表中显示每块玻片的粗糙度都很小,各玻片表面形貌参量很接近。

2) 用原子力显微镜及其图像分析软件 imager 对各玻片进行颗粒分析可知:颗粒的平均面

积 316 nm^2 , 平均直径 10 nm , 最大面积 $2.11 \times 10^3 \text{ nm}^2$, 最小面积 2.77 nm^2 。由数据得玻片平均颗粒面积比较小,大小颗粒分布均匀,在整体形貌上来说玻片较平整且均匀。

表 5 玻片的表面粗糙度分析

No.	平均粗糙度/ nm	均方根/ nm	十点高度/ nm
1	3.13	3.09	15.6
2	2.94	2.75	14.4
3	2.99	2.81	13.4
4	2.94	2.60	11.0
5	2.96	2.74	11.6

3) 玻片数据与溅射铝膜后数据对比,玻片的粗糙度远小于铝膜的粗糙度,膜的平均颗粒面积远大于玻片的平均颗粒面积。

4) 膜的厚度大于玻片的十点高度。

综上所述,玻片的粗糙度较小,颗粒分布均匀,表面平整,而且各玻片表面情况很接近,此外溅射膜的厚度比较大,则玻片的粗糙度对溅射膜的粗糙度影响不大,因而在该玻片上的镀膜具备同等条件可比性。

3.2 直流实验分析

1) 通过对薄膜表面粗糙化机理的研究,发现随着溅射功率的增大,沉积速率加快,减小了原子在表面的扩散长度,使沉积原子的晶化速度减慢,从而导致表面粗糙^[8]。

2) 溅射功率高会导致较高的溅射速率,由于单位时间内溅射出更多的粒子,粒子之间直接碰撞成核和团簇化的概率增大,最终导致较大的晶粒尺度。

3) 分析表 1 和表 2 中数据得出,溅射功率增加,薄膜表面粗糙度和表面颗粒尺寸也随之增加。

3.3 射频实验分析

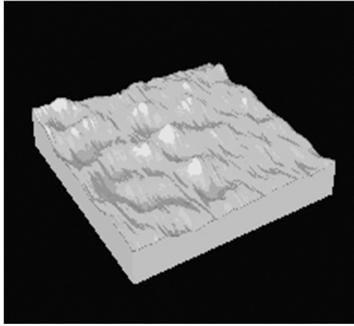
1) 在溅射功率、气体压强一定的条件下,随着溅射时间的延长,制出薄膜的表面粗糙度变大。

2) 薄膜的表面粗糙度变大的同时其颗粒尺寸也变大。这是由于单位时间内原子的沉积速率是相同的,随着时间的递增,基片上沉积的原子就越来越多,原子之间直接碰撞成核和团簇化的概率增大,因此颗粒尺寸变大。

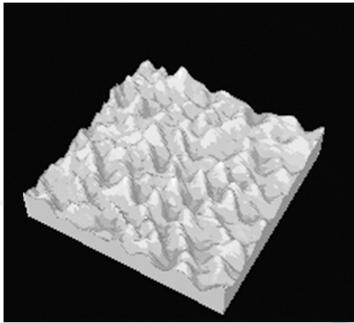
3) 分析表 3 和表 4 中数据得出,溅射时间增加,薄膜表面粗糙度和表面颗粒尺寸也随之增加。

3.4 剔除杂质分析

比较图 4 的 2 幅 AFM 三维形貌图,可以看到图 4(a) 中间有大块的白色凸起,很大程度上影响了整块膜的粗糙度. 剔除这些很明显与周边薄膜不匹配的“杂质”,选取膜上比较理想的部分,则如图 5 所示.



(a) $t = 15 \text{ min}$



(b) $t = 10 \text{ min}$

图 5 剔除“杂质”射频溅射 Al 膜 AFM 三维形貌图

对所截取部分进行面粗糙度分析,记录相关数据于表 6. 分析表 6 中数据,2 块膜的表面粗糙度相差不大,随溅射时间增加,表面粗糙度略有增加.

表 6 剔除杂质后射频溅射 Al 膜表面粗糙度分析

t / min	平均粗糙度 / nm	均方根 / nm	十点高度 / nm
15	16.3	21.2	150
10	15.7	19.7	123

由射频部分的颗粒尺寸分析可知:在一定的时间内,溅射时间增加,表面颗粒尺寸随之增加,但当时间增加到一定程度,颗粒分布出现不均匀的情况,如图 4 所示.

4 结 论

直流溅射条件下制备的膜比交流溅射条件下制备的膜的平均粗糙度大,即交流溅射条件下制备的铝膜粗糙度较小. 通过延长溅射时间或提高溅射功率可以使膜的平均颗粒直径增大. 由剔除杂质分析可知:当稳定的薄膜结构已经形成,随着溅射时间的增加,膜的厚度和表面颗粒尺寸随之增加;在没有出现颗粒分布不均匀时,表面粗糙度变化不大,只略有增加. 因此,欲获取一定粗糙度和颗粒大小的铝膜,只须选择适当的溅射时间;若要实现特定大小的颗粒,可以通过控制溅射时间来完成.

参考文献:

- [1] 杨武保. 磁控溅射镀膜技术最新进展及发展趋势预测[J]. 石油机械, 2005, 33(6): 73 ~ 76.
- [2] 徐万劲. 磁控溅射技术进展及运用(上)[J]. 现代仪器, 2005, (5): 1 ~ 5.
- [3] 徐万劲. 磁控溅射技术进展及运用(下)[J]. 现代仪器, 2005, (6): 5 ~ 10.
- [4] 李成贵,董申. 表面粗糙度的现状及发展[J]. 航空精密制造技术, 1999, 35(5): 1 ~ 4.
- [5] 施春陵,蒋建清. 原子力显微镜(AFM)在材料性能分析中的应用[J]. 江苏冶金, 2005, 33(1): 7 ~ 9.
- [6] 陈英飞,章海军,张冬仙. 原子力显微镜在纳米粗糙度测量中的应用[J]. 光学仪器, 2003, 25(4): 25 ~ 30.
- [7] 邢涛,王波,陈轶平,等. 磁控反应溅射制备择优取向氮化铝薄膜[J]. 物理实验, 2005, 25(12): 11 ~ 14.
- [8] 许小红,武海顺,张富强,等. 氮化铝薄膜结构和表面粗糙度的研究[J]. 稀有金属材料工程, 2000, 29(6): 394 ~ 397.

Technological study on Al film prepared by magnetron sputtering using AFM

HE Jian-mei , WEN Lang-ming , ZHANG Chen , ZHANG Xun , ZHENG Xi-xin ,
ZHUANG Wei-pei , ZHANG Hong , XU Hai-hong
(School of Physics , South China University of Technology , Guangzhou 510640 , China)

Abstract : The roughness and granularity of Al film prepared by DC and RF magnetron sputtering are analyzed using AFM. The experimental results indicate that the surface roughness of Al film prepared by DC sputtering is bigger than those of Al films prepared by RF sputtering , and the average granule diameter increases with long sputtering time and large sputtering power.

Key words : Al film ; surface roughness ; sputtering power ; sputtering time ; AFM

[责任编辑:任德香]

(上接第 39 页)

Comparing different methods of measuring thermal conductivity of good conductor

XIA Zhang-gen , ZHU Lian-gen , QIAO Wei-ping , WANG Jin-hui
(Department of Physics , Shanghai Jiao Tong University , Shanghai 200240 , China)

Abstract : According to the law of Wiedemann-Franz , the ratio of thermal conductivity and electrical conductivity of metal is constant. In this paper , the electrical conductivity of the material is measured at a certain temperature , then the thermal conductivity of the material is calculated based on the resistivity , the result is similar to that obtained using thermal-wave method.

Key words : thermal conductivity ; electrical conductivity ; law of Wiedemann-Franz ; good conductor

[责任编辑:郭 伟]

(上接第 41 页)

Principle analysis of measuring the Young modulus of cylinder

WANG Kai
(Sichuan University of Arts and Science , Dazhou 635000 , China)

Abstract : The experimental principle of measuring Young modulus of cylinder is analyzed and the theoretical formula is obtained. The shapes of samples in experiments of measuring Young modulus of stretching deformation , bending deformation and shear modulus of twisting deformation are supposed to be cylinder.

Key words : cylinder ; Young modulus ; shear modulus

[责任编辑:郭 伟]